

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PCT/DE 03/04032

8ct/DE03/4032

REC'D PCT/PTO 15 JUL 2005

RECD 30 JAN 2004

WIPO

PCT



10/542497

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 103 01 891.3

Anmeldetag: 17. Januar 2003

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

Bezeichnung: Verfahren zum Betrieb eines Tomographie-Geräts
und Tomographie-Gerät

IPC: A 61 B, G 01 N

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 14. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Fauel

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Beschreibung

Verfahren zum Betrieb eines Tomographie-Geräts und Tomographie-Gerät

5

Die Erfindung liegt auf dem Gebiet der bildgebenden Tomographie-Geräte, insbesondere für medizinische Untersuchungen, insbesondere auf dem Gebiet der Röntgen-Computertomographie (CT), der Einzelphotonenemissions-Tomographie (SPECT) oder 10 der Positronenemissions-Tomographie (PET).

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Tomographie-Geräts, welches eine um eine Systemachse rotierbare Abtasteinheit und eine Lagerungsvorrichtung für ein Untersu- 15 chungsobjekt aufweist.

15

Die Erfindung bezieht sich auch auf ein Tomographie-Gerät mit einer um eine Systemachse rotierbaren Abtasteinheit, einer Steuereinrichtung zur Ansteuerung der Abtasteinheit und einer 20 Lagerungsvorrichtung für ein Untersuchungsobjekt.

20

Die Durchführung von Untersuchungen an mehreren Untersu- chungsobjekten oder Patienten mittels einer Röntgen-Computer- 25 tomographie (CT) - Geräts wurde bislang zum Beispiel folgen- dermaßen vorgenommen:

30

1. Erzeugen eines Röntgenschattenbildes (Topogramm, Scanogramm, Scout View) bei nicht rotierender Röntgenstrah- lenquelle, wobei ein erstes Untersuchungsobjekt auf der Lagerungsvorrichtung relativ zu Röntgenstrahlenquelle und Detektorsystem in Richtung der Systemachse bewegt wird,

35 2. Definition des in Richtung der Systemachse bei der eigent- lichen Untersuchung zu erfassenden Bereichs (Scansbereich) des ersten Untersuchungsobjekts auf Basis des erzeugten Röntgenschattenbildes,

3. Positionieren des ersten Untersuchungsobjekts durch Ver- fahren der Lagerungsvorrichtung an den Startpunkt des

Scansbereichs,

4. Start der Rotation der Röntgenstrahlenquelle um die Systemachse,
5. Durchführung der eigentlichen Untersuchung des ersten Untersuchungsobjekts in Form einer Schicht- und/oder Volumenabtastung bei rotierender Röntgenstrahlenquelle, meist in Form einer Spiralabtastung,
6. Unterbrechung der Rotation der Röntgenstrahlenquelle, und
7. Wiederholung der Schritte 1. - 6. mit dem nächsten Untersuchungsobjekt.

Mit dem Topogramm soll somit u.a. erreicht werden, dass im Hinblick auf eine Minimierung der Strahlungsdosis nicht mehr Projektionsdaten, z.B. bei der Spiralabtastung, aufgenommen werden, also ein größerer Bereich abgetastet wird, als dann tatsächlich für die nachfolgende Bildrekonstruktion im gewünschten Bereich nötig wären. Außerdem dient das Topogramm der Dokumentation des gescannten Bereichs.

- 20 Dieses Verfahren beinhaltet einige prinzipielle Nachteile:
- a) Der gesamte Arbeitsablauf gestaltet sich relativ langwierig, was aus Effizienzgründen und aus medizinischen Gründen, insbesondere wenn es sich um Notfallpatienten handelt, unerwünscht ist.
 - b) Werden Röntgenschattenbilder aus verschiedenen Projektionsrichtungen (Blickwinkeln) gewünscht, z.B. "von vorn" und "von der Seite", so wird der Patient dreimal mit der Liege verfahren, nämlich zweimal zur Erzeugung der Schattenbilder und ein drittes Mal für die Spiralabtastung.

30

Zur Optimierung des Arbeitsablaufs und der Flexibilität wurden daher sogenannte „growing topograms“ vorgeschlagen, wobei ein mitwachsendes Röntgenschattenbild simultan oder schrittweise mit der Spiralabtastung aufgezeichnet und angezeigt wird. Eine solche Vorgehensweise ist in der DE 198 02 405 A1 für ein Computertomographie-Gerät mit einem sog. 2-Röhren-System beschrieben. Es wurden auch Computertomographen mit

35

nur einem Röntgenstrahler vorgeschlagen, bei welchen das Topogramm ebenfalls quasi „online“ durch Extraktion von Daten entsteht, die während der eigentlichen Abtastung aus einer Vielzahl von Projektionsrichtungen, z.B. bei der Spiralabtastung, anfallen. Solche Verfahren sind aus EP 0 531 993 B1, DE 41 03 588 C1 und DE 199 25 395 A1 bekannt.

Aus den genannten Dokumenten ist es auch bekannt, die oder eine der Röntgenröhren impulsartig nur an den oder dem für ein Topogramm nötigen Projektionswinkel(n) emittieren zu lassen.

In EP 1 116 475 A1 ist außerdem ein sogenanntes synthetisches Topogramm vorgeschlagen, das dadurch erzeugt wird, dass zunächst ein 3D-Datensatz aus den Projektionsdatensätzen rekonstruiert wird und dass aus dem 3D-Datensatz das Schattenbild nachträglich berechnet wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren sowie ein Tomographie-Gerät der eingangs genannten Art so fortzubilden, dass der gesamte Arbeitsablauf bei der Untersuchung mehrerer Patienten schneller ausführbar ist.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung und bezogen auf das eingangs genannte Verfahren dadurch gelöst, dass die Rotation der Abtasteinheit vom Beginn der Untersuchung eines ersten Untersuchungsobjekts bis zum Ende der Untersuchung eines zweiten Untersuchungsobjekts nicht unterbrochen wird.

Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass Zeiten zum Abbremsen oder zum Anfahren der Abtasteinheit einen maßgeblichen Anteil an der insgesamt zur Untersuchung mehrerer Patienten nötigen Zeitspanne haben. Beispielsweise beträgt die Abrems- und Anfahrzeit für die rotierende Gantry eines CT jeweils ca. 0,5 bis 1 Minute. Das röhrt zum Teil von der großen rotierten Masse her, die jeweils eine rampenartige positive bzw. negative Beschleunigung sowie ein Abwarten eines

mechanischen und/ oder elektrisches Aus- bzw. Einschwingens der tragenden Teile bzw. der Antriebe erforderlich machen. Dies Problematik nimmt mit zunehmender Drehzahl noch immens zu.

5

Entsprechende Totzeiten entstehen zum Beispiel vor Beginn der Schicht- und/oder Volumenabtastung des Untersuchungsobjektes, falls die Rotation der Abtasteinheit dann in Gang gesetzt wird, und nach Beendigung der Abtastung, falls die Rotation 10 dann bis zur Untersuchung des nächsten Untersuchungsobjektes unterbrochen wird. Die Erfindung basiert auf der Erkenntnis, derartige Totzeiten durch kontinuierliche Rotation der Abtasteinheit zu vermeiden. Insbesondere rotiert die Abtasteinheit beim Wechsel von einem Untersuchungsobjekt zum nächsten 15 Untersuchungsobjekt.

20

Neben der Beschleunigung des gesamten Arbeitsablaufs bei der Untersuchung mehrerer Patienten ergeben sich mit dem Verfahren nach der Erfindung weitere Vorteile:

i) Die Steuerung des Tomographie-Geräts kann erheblich vereinfacht werden. Insbesondere kann eine bislang notwendige Neu-Positionierung (Abtasteinheit bezüglich Lagerungseinrichtung, horizontal und vertikal) vor jeder neuen Untersuchung entfallen oder ist zumindest erheblich vereinfacht. Auch die elektrische Ansteuerung der die Rotation antreibenden Motoren ist vereinfacht.

30

ii) Durch die permanente Rotation werden auch die Meßzeiten reduziert, was vor allem dann bedeutsam ist, wenn ein Tomographie-Gerät für Notfallpatienten benutzt wird, wobei es auf jede Sekunde ankommt. Hier liegen die Vorteile auf der Hand, wenn man auch nur 1 - 2 Minuten sparen kann.

35

iii) Die Belastung für die tragenden Bauteile des Tomographie-Geräts ist reduziert. Auch die Schmierung von La-

gern ist durch die vergleichmäßigte Bewegung verbessert.

- iv) Die Temperaturstabilität und -homogenität des gesamten Tomographie-Geräts ist verbessert. Das wirkt sich im besonderen auch im Datenerfassungssystem aus. Auch die Kühlung ist dadurch vereinfacht.

Die unterbrechungsfreie Rotation der Abtasteinheit kann eine Rotation mit konstanter Geschwindigkeit bedeuten. Vorzugsweise wird die Rotationsgeschwindigkeit oder die Drehfrequenz aber in Abhängigkeit von der Art der gewünschten Untersuchung (Applikation), beispielsweise für eine Untersuchung des Herzens oder des Abdomens eines Patienten, unterschiedlich eingestellt.

Das Tomographie-Gerät ist insbesondere derart angesteuert, dass die Abtasteinheit dann, falls gerade keine Untersuchung stattfindet, mit einer voreingestellten Drehzahl rotiert („Stand-by-Stellung“). Diese Drehzahl (Ruhedrehzahl) ist beispielsweise kleiner als die für die Applikationen verfügbaren Drehzahlen oder liegt im Bereich des Mittelwertes der für die Applikationen verfügbaren Drehzahlen, so dass die Veränderung der Drehzahl bei einer neuen Applikation im Mittel gering ist.

Zwischen den unterschiedlichen Applikationen oder zwischen einer Applikation und der Rotation in der Stand-by-Stellung wird die Drehzahl vorzugsweise kontinuierlich geändert.

- Nach einer bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens erstreckt sich der Zeitraum der ununterbrochenen Rotation der Abtasteinheit über eine Arbeitsschicht, über einen Arbeitstag oder über eine Vielzahl von Untersuchungen. Die Arbeitsschicht bzw. der Arbeitstag betreffen beispielsweise die medizinische Einrichtung (Krankenhaus, Arztpraxis), der das Tomographie-Gerät zugeordnet ist. Der Zeitraum der ununterbrochenen Rotation kann sich auch über eine Woche oder länger erstrecken.

Nach einer anderen bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens erstreckt sich der Zeitraum der ununterbrochenen Rotation der Abtasteinheit über mindestens eine Stunde oder über mindes-
5 tens drei Stunden.

Im Hinblick auf besonders lange Zeiträume der ununterbroche-
nen Rotation ist besonders vorteilhaft, falls eine Kalibrie-
10 rung des Tomographie-Geräts, insbesondere umfassend eine Po-
sitions- und/ oder Empfangskanalkorrektur, während der Rota-
tion der Abtasteinheit vorgenommen wird. Dabei geht die Er-
findung von der Erkenntnis aus, dass eine solche Vorgehens-
weise erheblich weniger Ungenauigkeiten zur Folge hat, als
15 dies bei Kalibrierung im Stillstand und anschließender Unter-
suchung bei Rotation der Fall ist. Ein dauernd rotierendes
Meßsystem hat nämlich auch den Vorteil, dass die durch Flieh-
kräfte entstehenden mechanischen Ungenauigkeiten, z.B. eine
Durchbiegung des Meßsystems, wesentlich weniger ins Gewicht
20 fallen, insbesondere wenn diese bei der Kalibrierung gleich
mitberücksichtigt werden.

In besonders vorteilhafter Ausgestaltung ist das Tomographie-
Gerät ein Röntgen-Computertomographie(CT)-Gerät, dessen Ab-
tasteinheit eine um die Systemachse rotierbare Röntgenstrah-
lenquelle und ein Detektorsystem zur Aufnahme der von der
Röntgenstrahlenquelle ausgehenden Röntgenstrahlung aufweist,
wobei zumindest die Rotation der Röntgenstrahlenquelle – und
optional auch die des Detektorsystems – vom Beginn der Unter-
suchung eines ersten Untersuchungsobjekts bis zum Ende der
30 Untersuchung eines zweiten Untersuchungsobjekts nicht unter-
brochen wird.

Die Notwendigkeit zur Unterbrechung der Rotation wurde bisher
oft daraus abgeleitet, dass aus den eingangs erläuterten
35 Gründen ein Topogramm aufgezeichnet werden sollte. Die Erfin-
dung geht hier von der zusätzlichen Erkenntnis aus, dass für
ein Topogramm, selbst falls es vor der eigentlichen CT-

Abtastung des Untersuchungsobjektes vollständig abgeschlossen sein soll, dennoch keine Unterbrechung der Rotation der Abtasteinheit nötig ist. Dies wird durch die folgenden drei bevorzugten Ausgestaltungen deutlich:

5

- 1) Die Untersuchung des ersten und/ oder zweiten Untersuchungsobjekts weist folgende Verfahrensschritte auf:
 - a) Aufnahme eines Röntgenschattenbildes des Untersuchungsobjekts bei rotierender Röntgenstrahlenquelle,
und dann:
 - b) Durchführung einer Schicht- und/oder Volumenabtastung des Untersuchungsobjekts bei rotierender Röntgenstrahlenquelle, wobei die Röntgenstrahlenquelle an einer Vielzahl von Winkelstellungen Röntgenstrahlung emittiert und jeweils
Projektionsdaten von dem Detektorsystem detektiert werden,
und wobei die Rotation der Röntgenstrahlenquelle vom Beginn
des Schrittes a) bis zum Ende des Schrittes b) nicht unterbrochen wird.
- 20 Dadurch ist trotz ununterbrochener Rotation ein Topogramm erzeugbar, dass vor der eigentlichen CT-Untersuchung (Schritt b) abgeschlossen ist.

10

15 Insbesondere emittiert dabei die Röntgenstrahlenquelle zur Aufnahme des Röntgenschattenbildes bei Schritt a) *impulsartig* jeweils an einer für das Röntgenschattenbild vorgebbaren Winkelstellung Röntgenstrahlung, und es werden entsprechende Durchstrahlungsdaten von dem Detektorsystem detektiert. Die Röntgenstrahlenquelle kann gleichzeitig parallel zur Systemachse und relativ zum Untersuchungsobjekt bewegt werden. Bei entsprechend in Richtung der Systemachse ausgedehnten Detektorsystem kann diese Relativbewegung evtl. entfallen.

30

- 35 2) Die Untersuchung des ersten und/ oder zweiten Untersuchungsobjekts weist folgende Verfahrensschritte auf:
 - a) Durchführung einer Schicht- und/oder Volumenabtastung des Untersuchungsobjekts bei rotierender Röntgenstrahlenquel-

le, wobei die Röntgenstrahlenquelle an einer Vielzahl von Winkelstellungen Röntgenstrahlung emittiert und jeweils Projektionsdaten von dem Detektorsystem detektiert werden, und wobei insbesondere die Röntgenstrahlenquelle parallel zur Systemachse und relativ zum Untersuchungsobjekt bewegt wird;

- b) Erzeugung eines Röntgenschattenbildes des Untersuchungsobjekts *simultan* mit der Schicht- und/oder Volumenabtastung, indem für das Röntgenschattenbild passende Projektionsdaten aus den bei der Schicht- und/oder Volumenabtastung anfallenden Daten selektiert werden.

Dadurch ist bei ununterbrochener Rotation ein *mitwachsendes Topogramm* erzeugbar. Bei entsprechend in Richtung der Systemachse ausgedehntem Detektorsystem kann die Relativbewegung der Röntgenstrahlenquelle parallel zur Systemachse evtl. entfallen.

3) Die Untersuchung des ersten und/ oder zweiten Untersuchungsobjekts weist folgende Verfahrensschritte auf:

- a) Durchführung einer Schicht- und/oder Volumenabtastung des Untersuchungsobjekts bei rotierender Röntgenstrahlenquelle, wobei die Röntgenstrahlenquelle an einer Vielzahl von Winkelstellungen Röntgenstrahlung emittiert und jeweils Projektionsdaten von dem Detektorsystem detektiert werden, und wobei insbesondere die Röntgenstrahlenquelle parallel zur Systemachse und relativ zum Untersuchungsobjekt bewegt wird;
- b) Rekonstruktion eines 3D-Datensatzes aus den bei der Schicht- und/oder Volumenabtastung anfallenden Projektionsdaten;
- c) Berechnung eines Röntgenschattenbildes des Untersuchungsobjekts als *synthetisches Projektionsbild* aus dem 3D-Datensatz.

35

Dadurch ist bei ununterbrochener Rotation ein *synthetisches Topogramm* erzeugbar. Bei entsprechend in Richtung der System-

achse ausgedehntem Detektorsystem kann die Relativbewegung der Röntgenstrahlenquelle parallel zur Systemachse evtl. entfallen.

- 5 Bei dem Verfahren nach der Erfindung kann die Schicht- und/oder Volumenabtastung gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform in Form einer Spiralabtastung erfolgen. Hierzu kann die Lagerungsvorrichtung einerseits und die Röntgenstrahlenquelle und das Detektorsystem andererseits bei Verlagerung der Röntgenstrahlenquelle um die Systemachse wenigstens im wesentlichen in Richtung der Systemachse relativ zueinander verschiebbar sein.

10 Die gerätebezogene Aufgabe wird gemäß der Erfindung dadurch gelöst, dass die Steuereinrichtung des eingangs genannten Tomographie-Geräts derart ausgebildet ist, dass die Abtasteinheit vom Beginn der Untersuchung eines ersten Untersuchungsobjekts bis zum Ende der Untersuchung eines zweiten Untersuchungsobjekts ohne Unterbrechung rotierbar ist.

20 Vorteile und bevorzugte Ausführungsformen des Tomographie-Geräts nach der Erfindung gelten analog wie für das Verfahren der Erfindung.

Das Tomographie-Gerät nach der Erfindung ist vorzugsweise als Röntgen-Computertomographie (CT) - Gerät ausgebildet. Es kann auch als Einzelphotonenemissions-Tomographie (SPECT) - Gerät oder als Positronenemissions-Tomographie (PET) - Gerät oder als Kombination solcher Geräte, z.B. als PET/CT-Gerät, ausgebildet sein. Für solche Geräte ist auch das Verfahren nach der Erfindung anwendbar.

Nach einer besonders bevorzugten Ausgestaltung umfasst die Abtasteinheit eine um eine Systemachse rotierbare Röntgenstrahlenquelle und ein Detektorsystem zur Aufnahme der von der Röntgenstrahlenquelle ausgehenden Röntgenstrahlung, wobei die Steuereinrichtung derart ausgebildet ist, dass zumindest

die Röntgenstrahlenquelle - und optional auch das Detektorsystem - vom Beginn der Untersuchung eines ersten Untersuchungsobjekts bis zum Ende der Untersuchung eines zweiten Untersuchungsobjekts ohne Unterbrechung rotierbar ist.

5

Bevorzugt ist das Tomographie-Gerät auch hinsichtlich der elektrischen Leistungszufuhr zum Röntgengenerator und/oder hinsichtlich der Abwärmeabfuhr, insbesondere der Kühlung der rotierenden Abtasteinheit, für einen Dauerbetrieb hergerichtet.

10

Besonders vorteilhaft weist die Küleinrichtung hierzu zum Beispiel Luftmitnehmer zur Erzeugung eines Luftstromes auf, wobei die Luftmitnehmer an einem die Abtasteinheit tragenden Drehrahmen derart angebracht und derart dimensioniert sind, dass bei Rotation des Drehrahmens eine zum Kühlen der Abtasteinheit ausreichende Kühlleistung erreicht wird. Dadurch können gesonderte elektrisch anzutreibende Ventilatoren entfallen. Diese Idee ist auch bei einem nicht dauernd rotierenden Tomographie-Gerät vorteilhaft anwendbar.

15

20

Die Luftmitnehmer sind insbesondere als Luftschaufeln ausgebildet, die im Inneren des Drehrahmens, z.B. einwirkend in einen ringförmigen Strömungskanal, angebracht sein können, oder vorzugsweise an einer Außenseite des Drehrahmens oder an einer Außenseite einer Gehäusewand des Drehrahmens.

30

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von in den schematischen Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

35

Fig. 1 in teils perspektivischer, teils blockschaltbildartiger Darstellung ein zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignetes CT-Gerät,

Fig. 2 einen Blockdiagramm zur Veranschaulichung eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 3 ein Diagramm mit einem zeitlichen Verlauf der Drehfrequenz einer Abtasteinheit des CT-Geräts der Figur 1 bei dem Ausführungsbeispiel der Figur 2, und

5

Fig. 4 ein Detail eines CT-Geräts nach der Erfindung be treffend die Kühlung.

In **Figur 1** ist ein zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignetes CT-Gerät der 3. Generation unter Weglassung u.a. eines Gehäuserahmens dargestellt. Die insgesamt mit 1 bezeichnete Abtasteinheit oder Messanordnung des CT-Geräts weist eine Röntgenstrahlenquelle 2 und ein als flächenhaftes Array von mehreren Zeilen und Spalten von Detektorelementen 4 ausgebildetes Detektorsystem 5 auf. Die Röntgenstrahlenquelle 2 und das Detektorsystem 5 sind an einem nicht dargestellten Drehrahmen einander derart gegenüberliegend angebracht, dass ein im Betrieb des CT-Geräts von der Röntgenstrahlenquelle 2 ausgehendes, durch einstellbare Strahlenblenden eingebündeltes, pyramidenförmiges Röntgenstrahlenbündel mit Randstrahlen 8 auf das Detektorsystem 5 auftrifft.

Der Drehrahmen (Gantry) kann mittels der als Synchronmotor oder alternativ als Asynchronmotor mit Riemenantrieb ausgebildeten Antriebseinrichtung 7 um eine Systemachse Z in Rotation versetzt werden. Die Systemachse Z verläuft parallel zu der z-Achse eines in Fig. 1 dargestellten räumlichen rechtwinkligen Koordinatensystems.

30

Die Spalten des Detektorsystems 5 verlaufen ebenfalls in Richtung der z-Achse, während die Zeilen, deren Breite b in Richtung der z-Achse gemessen wird und beispielsweise 1 mm beträgt, quer zu der Systemachse Z bzw. der z-Achse verlaufen.

35 Um ein Untersuchungsobjekt, z.B. einen Patienten, in den

Strahlengang des Röntgenstrahlenbündels bringen zu können, ist eine Lagerungsvorrichtung 9 vorgesehen, die parallel zu der Systemachse Z, also in Richtung der z-Achse verschiebbar ist, und zwar derart, dass eine Synchronisation zwischen der

- 5 Rotationsbewegung des Drehrahmens und der Translationsbewegung der Lagerungsvorrichtung 9 in dem Sinne vorliegt, dass das Verhältnis von Translations- zu Rotationsgeschwindigkeit konstant ist, wobei dieses Verhältnis einstellbar ist, indem ein gewünschter Wert für den Vorschub h der Lagerungsvorrichtung 9 pro Umdrehung Drehrahmens gewählt wird.

Es kann also ein Volumen eines auf der Lagerungsvorrichtung 9 befindlichen Untersuchungsobjekts im Zuge einer Volumenabtastung untersucht werden, wobei die Volumenabtastung in Form

- 15 einer Spiralabtastung in dem Sinne vorgenommen wird, dass unter gleichzeitiger Rotation der Abtasteinheit 1 und Translation der Lagerungsvorrichtung 9 mittels der Abtasteinheit 1 pro Umlauf der Abtasteinheit 1 eine Vielzahl von Projektionen aus verschiedenen Projektionsrichtungen aufgenommen wird. Bei 20 der Spiralabtastung bewegt sich der Fokus F der Röntgenstrahlenquelle relativ zu der Lagerungsvorrichtung 9 auf einer Spiralbahn S.

Die während der Spiralabtastung aus den Detektorelementen 4 jeder Zeile des Detektorsystems 5 parallel ausgelesenen, den einzelnen Projektionen entsprechenden Messdaten werden in einem Sequenzer 10 serialisiert und an einen Bildrechner 11 übertragen.

- 30 Nach einer Vorverarbeitung der Messdaten in einer Vorverarbeitungseinheit 12 des Bildrechners 11 gelangt der resultierende Datenstrom zu einer Schnittbildrekonstruktionseinheit 13, die aus den Messdaten Schnittbilder von gewünschten Schichten des Untersuchungsobjekts nach einem an sich bekannten Verfahren (z.B. 180LI- oder 360LI-Interpolation) rekonstruiert.

Um die Lage einer Schicht, bezüglich derer ein Schnittbild rekonstruiert werden soll, in z-Richtung bestimmen zu können, kann neben Schnittbildern auch ein Röntgenschattenbild aus den Messdaten rekonstruiert werden. Dazu wird aus dem von dem

- 5 Sequenzer 10 kommenden Datenstrom, und zwar bevor dieser zu der Schnittbildrekonstruktionseinheit 13 gelangt, mittels einer Weiche 14 der zur Rekonstruktion eines Röntgenschattenbildes einer gewünschten Projektionsrichtung erforderliche Anteil der Messdaten extrahiert und einer Röntgenschattenbildrekonstruktionseinheit 15 zugeführt, die aus den extrahierten Messdaten nach einem bekannten Verfahren, ein Röntgenschattenbild rekonstruiert.

- 15 Die von der Schnittbildrekonstruktionseinheit 13 und der Röntgenschattenbildrekonstruktionseinheit 15 während der Durchführung der Spiralabtastung rekonstruierten Schnitt- bzw. Röntgenschattenbilder werden parallel zu und synchron mit der Spiralabtastung auf einer an den Bildrechner 11 angegeschlossenen Anzeigeeinheit 16, z. B. einem Videomonitor, dargestellt.

- 30 Die Röntgenstrahlenquelle 2, beispielsweise eine Röntgenröhre, wird von einer Generatoreinheit 17 mit den notwendigen Spannungen und Strömen versorgt. Um diese auf die jeweils notwendigen Werte einzustellen zu können, ist der Generatoreinheit 17 eine Steuereinrichtung 18 mit Tastatur 19 zugeordnet, die die notwendigen Einstellungen gestattet. Die Generatoreinheit 17 gestattet auch ein intermittierendes oder impulsartiges Aussenden von Röntgenstrahlen an vorgebbaren Winkelpositionen der Röntgenstrahlenquelle 2. Die Winkelpositionen (Projektionsrichtungen) werden von einem Positionssensor mit einer Schlitzscheibe generiert.

- 35 Auch die sonstige Bedienung und Steuerung des CT-Gerätes erfolgt mittels der Steuereinrichtung 18 und der Tastatur 19, was dadurch veranschaulicht ist, dass die Steuereinrichtung 18 mit dem Bildrechner 11 verbunden ist. Die Steuereinrich-

tung 18 dient außerdem der Ansteuerung der Antriebseinrich-
tung 7.

Der Aufbau des Bildrechners 11 ist vorstehend in einer Weise
5 beschrieben, als seien die Vorverarbeitungseinheit 12, die
Schnittbildrekonstruktionseinheit 13, die Weiche 14 und die
Röntgenschattenbildrekonstruktionseinheit 15 Hardwarekompo-
nenten. Dies kann in der Tat so sein, in der Regel sind aber
die genannten Komponenten durch Softwaremodule realisiert,
10 die auf einem mit den erforderlichen Schnittstellen versehe-
nen Universalrechner laufen, der abweichend von der Fig. 1
auch die Funktion der Steuereinrichtung 18 übernehmen kann.

Die Generatoreinheit 17 und die Antriebseinrichtung 7 gestat-
15 ten folgende mittels der Steuereinheit 18 einstellbare Be-
triebsarten:

V: Dauerbetrieb der Röntgenstrahlenquelle 2 bei Volumenab-
tastung, z.B. Spiralabtastung, mit einer für die Erzeu-
20 gung von Schnittbildern parametrierten Röntgenleistung,

T': Dauerbetrieb Röntgenstrahlenquelle 2 bei Spiralabtastung
mit einer für die Erzeugung von Röntgenschattenbild (To-
pogramm) parametrierten, gegenüber der Betriebsart „V“
reduzierten Röntgenleistung,

T: Schaltbetrieb der Röntgenstrahlenquelle 2, wobei nur
dann, wenn sich die rotierende Röntgenstrahlenquelle 2 in
einer der gewünschten Projektionsrichtung für das Rönt-
20 genschattenbild (Topogramm) entsprechenden Position be-
findet, die Röntgenstrahlenquelle 2 einen Röntgenimpuls
mit der für die Erzeugung von Röntgenschattenbildern pa-
rametrierte Röntgenleistung abstrahlt, und

35 A: Abschaltbetrieb, in dem die Röntgenstrahlenquelle 2 zwar
mit konstanter Drehfrequenz $f_A (>0$, z.B. 1 Umdrehung/s)
rotiert („Stand-by-Modus“), aber nicht aktiviert ist.

Die Figuren 2 und 3 zeigen ein vereinfachtes Ablaufdiagramm bzw. ein Zeitdiagramm des Arbeitsablaufs bei der Untersuchung mehrerer Untersuchungsobjekte U1, U2, Untersuchungsob-

5 jekte als solche sind nicht dargestellt - „U1“ bzw. „U2“ be-
zeichnet vielmehr, was jeweils zur Untersuchung des betref-
fenden Untersuchungsobjekts gehört. Figur 2 zeigt schematisch
den Verlauf der Drehfrequenz f_{Rot} mit der Zeit t während des
Arbeitsablaufs. Die t -Achse ist nicht linear skaliert: im Re-
10 gelfall wird eine Spiralabtastung im Vergleich zu einer To-
pogrammaufnahme länger dauern als hier dargestellt.

Zu Beginn eines Arbeitstages oder einer Arbeitswoche wird ein Kalibrierschritt „Kal“ ausgeführt. Anschließend bringt die

15 Steuereinrichtung 18 die Abtasteinheit 1 in einer ersten Park- oder Stand-by-Phase 21 mit der Betriebsart „A“ in Rota-
tion, in der das CT-Gerät verharrt bis ein erstes Untersu-
chungsobjekt U1 zur Untersuchung ansteht. Ohne Unterbrechung
der Rotation wird dann die Untersuchung mit einem Topogramm-

20 Schritt 22 in der Betriebsart „T“ begonnen. Es wird nur ein Röntgenschattenbild (Topogramm) des ersten Untersuchungsob-
jekts U1 - oder alternativ zwei Schattenbilder lateral und a.p. - rekonstruiert und angezeigt. Anschließend wird ohne Unterbrechung der Rotation in einer weiteren Stand-by-Phase
23 wieder in die Betriebsart „A“ gewechselt, während der das Bedienpersonal zunächst einen diagnostisch relevanten Scanbe-
reich festlegt und dann anhand dessen das erste Untersu-
chungsobjekt U1 an dem Beginn des gewünschten Scanbereichs positioniert. Nach erfolgter Positionierung wird unter fort-

30 dauernder Rotation in einen Volumenabtast-Schritt 24 mit ge-
genüber Schritt 23 geringfügig erhöhter Drehzahl eine Spirals-
abtastung in der Betriebsart „V“ durchgeführt. Ist das zuvor festgelegte Ende des Scanbereich erreicht, so wird ohne Unterbrechung der Rotation der Abtasteinheit 1 in einer weite-

35 ren Stand-by-Phase 25 erneut in die Betriebsart „A“ gewech-
selt und die Strahlung abgeschaltet, wobei die Abtasteinheit 1 aber weiterrotiert. In diesem Zustand verharrt das CT-Gerät

bis ein weiterer Patient untersucht werden soll.

Anschließend wird der Vorgang bei Bedarf mit einem zweiten Untersuchungsobjekt U2 wiederholt, wobei hier im Beispiel ein 5 anderer Bereich des Patienten untersucht werden soll (andere Applikation):

- Topogramm-Schritt 26,
- Stand-by-Phase 27 mit Positionierung des zweiten Untersu-
10 chungsobjekt U2 für die nachfolgende,
- Volumenabtastung 28 mit einer - wegen der anderen Applika-
tion - im Vergleich zur Untersuchung des erstes Untersu-
chungsobjekts U1 geringeren Drehfrequenz,
- Stand-by-Phase 29.

15

Danach werden die Zyklen noch mit weiteren Untersuchungsob-
jekten wiederholt, wobei die Abtasteinheit 1 über einen Zeit-
raum Δt von mehreren Stunden hinweg ohne Unterbrechung ro-
tiert. Anders als in den Figuren 2 und 3 dargestellt kann die
20 Abtasteinheit 1 während des Kalibrierschritts Kal auch rotie-
ren.

Alternativ zur Betriebsart „T“ können zu Beginn der Untersu-
chung in der Betriebsart „T‘“ parallel Röntgenschattenbild-
und Schnittbildrekonstruktion durchgeführt werden. Die Ergeb-
nisse werden parallel an der Anzeigeeinheit 16 dargestellt.
Aufgrund der reduzierten Röntgenleistung sind die Schnittbil-
der aber nur eingeschränkt diagnostisch verwendbar.

30 In den bislang zu den Figuren 2 und 3 gemachten Ausführungen wurde davon ausgegangen, dass das Topogramm vor der eigentli-
chen Volumenabtastung vollständig abgeschlossen ist, dass al-
so sowohl Anfang als auch Ende des diagnostisch relevanten Scanbereichs bekannt sind. Alternativ dazu kann das Topogramm
35 auch jeweils nur teilweise erzeugt sein, bevor mit der Volu-
menabtastung begonnen wird: Werden nämlich in der Betriebsart „T‘“ oder „T“ mit zunehmendem z-Vorschub der Abtasteinheit 1

diagnostisch relevante Strukturen erreicht, so kann ohne Unterbrechung der Rotation der Abtasteinheit 1 auf die Betriebsart „V“ umgeschaltet werden, in der nun Messdaten gewonnen werden, die aufgrund der nun höheren Röntgenleistung
5 die Rekonstruktion von Schnittbildern hoher Qualität ermöglichen, die gleichzeitig mit dem Röntgenschattenbild angezeigt werden. Ist der diagnostisch relevante Bereich überstrichen so wird auch bei dieser Alternative ohne Unterbrechung der Rotation der Abtasteinheit 1 in einer weiteren Stand-by-Phase
10 25 erneut in die Betriebsart „A“ gewechselt und die Strahlung abgeschaltet, wobei die Abtasteinheit 1 aber weiterrotiert.

In einer weiteren alternativen Betriebsart, die besonders für CT-Geräte von Bedeutung ist, deren Detektorsystem 5 eine große Breite in Richtung der Systemachse Z und damit eine große Anzahl von Zeilen aufweist, kann dann, wenn die Erstreckung des Detektorsystems 5 ausreicht, um den gesamten zu untersuchenden Bereich zu erfassen, auch auf eine Relativbewegung zwischen der Abtasteinheit 1 und der Lagerungsvorrichtung 9
15 20 in Richtung der Systemachse Z und damit auf eine Spiralabtastung verzichtet werden. Dabei genügt es für den Fall, dass die Erstreckung des Detektorsystems 5 in Richtung der Systemachse Z größer ist als die entsprechende Erstreckung des zu untersuchende Bereichs, nur diejenigen Zeilen des Detektorsystems 5 zu aktivieren, die zur Erfassung des untersuchenden Bereichs erforderlich sind.

Der Rotationsantrieb der rotierenden Masse in einem Röntgen-Computertomographie (CT) -Gerät musste bisher zwei Kriterien
30 erfüllen:

1. eine genaue Einstellung einer Drehfrequenz nach Vorgabe und
2. eine Positionierung der Masse auf eine bestimmte Winkelposition.

35

Regelungstechnisch sind beide Anforderungen nur sehr schwer zusammen zu erfüllen, so dass in der Vergangenheit die Dreh-

zahlregelung, die für die Bildgebung bei einem Spiral-Scan entscheidend ist, oftmals den Vorzug erhalten musste. Es konnten daher bei Anwendung eines nur einfachen Positionierverfahrens mehrere Versuche, z.B. durch Bremsen der Masse mit einem Vorhaltewinkel und Lernen des Bremswegs, und damit mehr Zeit nötig sein um das Ziel zu erreichen. Die entstehende Winkelgenauigkeit betrug dabei im Einzelfall nur circa $+/-5^\circ$.

Vorteile der Dauerrotation sind nun, dass

10

A) nur noch auf konstante Rotationsgeschwindigkeit geregelt werden muß, d.h. das Regelsystem kann vergleichsweise einfach ausgeführt sein und der Antrieb kann z.B. auf einen sehr preiswerten Asynchronmotor reduziert werden, und dass

15

B) die Präzision der Winkeleinstellung für ein Topogramm erheblich höher ist, also die Winkelteilung des Rotationspositionsgabers, und damit insbesondere das Ergebnis des entstehenden Übersichtsbildes genauer ist.

20

Ein dauernd rotierendes Meßsystem bewirkt ferner eine gleichmäßige Temperaturverteilung und erlaubt dadurch eine erhöhte Meßgenauigkeit mithin eine bessere Bildqualität. Ein dauernd rotierendes Meßsystem verhindert „Temperaturnester“, d.h. lokal ausgeprägte Temperaturerhöhungen, die sich durch mechanische Verspannungen des Meßsystems in Form von Meßgenauigkeiten bemerkbar machen können, z.B. durch Verzug des Strahlentächers relativ zum Detektor, und/oder zu einem erhöhten mechanischen Verschleiß führen können, z.B. eines Lagers.

30

Eine Dauerrotation erlaubt es auch, das rotierende Meßsystem so auszuformen, daß es aktiv an der Kühlung beteiligt ist, indem z.B. die Aufhängung oder der Drehrahmen 40 des Meßsystems so gestaltet ist, dass sie bzw. er wie ein Ventilator wirkt. Hierzu können - wie in Figur 4 schematisch dargestellt ist - Luftschaufeln 43 als Teil einer Kühleinrichtung 42 auf der Außenseite (Stirn- oder Umfangseite) eines Geäuses 41 des

Drehrahmens 40 vorhanden sein. Der zur Kühlung im Betrieb erforderliche Luftstrom kann dann ohne zusätzliche Ventilatoren erzeugt werden. Zur Vermeidung von Verletzungen sind die Luftschaufeln 43 entweder vom Standrahmen 45 des CT-Geräts
5 oder von einer gesonderten Abdeckung (Gitternetz etc.) abgedeckt.

Die Erfindung kann innerhalb aber auch außerhalb der Medizin Anwendung finden, beispielsweise auch bei der Gepäckprüfung
10 oder bei der Materialuntersuchung.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Tomographie-Geräts, welches eine um eine Systemachse (Z) rotierbare Abtasteinheit (1) und eine Lagerungsvorrichtung (9) für ein Untersuchungsobjekt aufweist,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s die Rotation der Abtasteinheit (1) vom Beginn der Untersuchung eines ersten Untersuchungsobjekts (U1) bis zum Ende der Untersuchung eines zweiten Untersuchungsobjekts (U2) nicht unterbrochen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1 ,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s die Drehfrequenz (f_{Rot}) der Abtasteinheit (1) in Abhängigkeit von der Art der gewünschten Untersuchung, beispielsweise für eine Untersuchung des Herzens oder des Abdomens eines Patienten, unterschiedlich eingestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sich der Zeitraum (Δt) der ununterbrochenen Rotation der Abtasteinheit (1) über eine Arbeitsschicht, über einen Arbeitstag oder über eine Vielzahl von Untersuchungen erstreckt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s sich der Zeitraum (Δt) der ununterbrochenen Rotation der Abtasteinheit (1) über mindestens eine Stunde oder über mindestens drei Stunden erstreckt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s das Tomographie-Gerät ein Röntgen-Computertomographie (CT) - Gerät ist, dessen Abtasteinheit (1) eine um die Systemachse (Z) rotierbare Röntgenstrahlenquelle (2) und ein Detektorsys-

tem (5) zur Aufnahme der von der Röntgenstrahlenquelle (2) ausgehenden Röntgenstrahlung aufweist, wobei zumindest die Rotation der Röntgenstrahlenquelle (2) vom Beginn der Untersuchung eines ersten Untersuchungsobjekts (U1) bis zum Ende der Untersuchung eines zweiten Untersuchungsobjekts (U2) nicht unterbrochen wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Untersuchung des ersten und/ oder zweiten Untersuchungsobjekts (U1, U2) folgende Verfahrensschritte aufweist:

a) Aufnahme eines Röntgenschattenbildes des Untersuchungsobjekts bei rotierender Röntgenstrahlenquelle (2), und dann:

b) Durchführung einer Schicht- und/oder Volumenabtastung des Untersuchungsobjekts bei rotierender Röntgenstrahlenquelle, wobei die Röntgenstrahlenquelle (2) an einer Vielzahl von Winkelstellungen Röntgenstrahlung emittiert und jeweils Projektionsdaten von dem Detektorsystem (5) detektiert werden,

und wobei die Rotation der Röntgenstrahlenquelle (2) vom Beginn des Schrittes a) bis zum Ende des Schrittes b) nicht unterbrochen wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei zur Aufnahme des Röntgenschattenbildes bei Schritt a) die Röntgenstrahlenquelle (2) impulsartig jeweils an einer für das Röntgenschattenbild vorgebbaren Winkelstellung Röntgenstrahlung emittiert, wobei entsprechende Durchstrahlungsdaten von dem Detektorsystem (5) detektiert werden, und wobei insbesondere die Röntgenstrahlenquelle (2) parallel zur Systemachse (Z) und relativ zum Untersuchungsobjekt bewegt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Untersuchung des ersten und/ oder zweiten Untersuchungsobjekts (U1, U2) folgende Verfahrensschritte aufweist:

a) Durchführung einer Schicht- und/oder Volumenabtastung des Untersuchungsobjekts bei rotierender Röntgenstrahlenquelle

(2), wobei die Röntgenstrahlenquelle (2) an einer Vielzahl von Winkelstellungen Röntgenstrahlung emittiert und jeweils Projektionsdaten von dem Detektorsystem (5) detektiert werden, und wobei insbesondere die Röntgenstrahlenquelle (2) parallel zur Systemachse (Z) und relativ zum Untersuchungsobjekt bewegt wird,

- 5 b) Erzeugung eines Röntgenschattenbildes des Untersuchungsobjekts simultan mit der Schicht- und/oder Volumenabtastung, indem für das Röntgenschattenbild passende Projektionsdaten aus den bei der Schicht- und/oder Volumenabtastung anfallenden Daten selektiert werden.

10 15 9. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Untersuchung des ersten und/ oder zweiten Untersuchungsobjekts (U₁, U₂) folgende Verfahrensschritte aufweist:

- 20 a) Durchführung einer Schicht- und/oder Volumenabtastung des Untersuchungsobjekts bei rotierender Röntgenstrahlenquelle (2), wobei die Röntgenstrahlenquelle (2) an einer Vielzahl von Winkelstellungen Röntgenstrahlung emittiert und jeweils Projektionsdaten von dem Detektorsystem (5) detektiert werden, und wobei insbesondere die Röntgenstrahlenquelle (2) parallel zur Systemachse (Z) und relativ zum Untersuchungsobjekt bewegt wird,
- b) Rekonstruktion eines 3D-Datensatzes aus den bei der Schicht- und/oder Volumenabtastung anfallenden Projektionsdaten, und
- c) Berechnung eines Röntgenschattenbildes des Untersuchungsobjekts als synthetisches Projektionsbild aus dem 3D-Datensatz.

30 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, bei welchem die Schicht- und/oder Volumenabtastung in Form einer Spiralabtastung erfolgt.

35 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass eine Kalibrierung des Tomographie-Geräts während der Rotation

der Abtasteinheit (1) vorgenommen wird.

12. Tomographie-Gerät mit einer um eine Systemachse rotierba-
ren Abtasteinheit (1), einer Steuereinrichtung (18) zur An-

5 steuerung der Abtasteinheit (1) und einer Lagerungsvorrich-
tung (9) für ein Untersuchungsobjekt,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s
die Steuereinrichtung (18) derart ausgebildet ist, dass die

Abtasteinheit (1) vom Beginn der Untersuchung eines ersten

10 Untersuchungsobjekts (U1) bis zum Ende der Untersuchung eines
zweiten Untersuchungsobjekts (U2) ohne Unterbrechung rotier-
bar ist.

13. Tomographie-Gerät nach Anspruch 12, welches als Röntgen-
15 Computertomographie (CT) - Gerät ausgebildet ist.

14. Tomographie-Gerät nach Anspruch 13, wobei die Abtastein-
heit (1) eine um eine Systemachse (Z) rotierbare Röntgen-

strahlenquelle (2) und ein Detektorsystem (5) zur Aufnahme

20 der von der Röntgenstrahlenquelle (2) ausgehenden Röntgen-
strahlung umfasst, und wobei die Steuereinrichtung (18) der-
art ausgebildet ist, dass zumindest die Röntgenstrahlenquelle
(2) vom Beginn der Untersuchung eines ersten Untersuchungsob-
jekts (U1) bis zum Ende der Untersuchung eines zweiten Unter-
suchungsobjekts (U2) ohne Unterbrechung rotierbar ist.

15. Tomographie-Gerät nach einem der Ansprüche 12 bis 14 mit
einer Kühleinrichtung (42) zur Abfuhr von Wärme von der Ab-
tasteinheit (1),

30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s
die Kühleinrichtung (42) Luftmitnehmer zur Erzeugung eines
Luftstromes aufweist, wobei die Luftmitnehmer an einem die
Abtasteinheit (1) tragenden Drehrahmen (40) derart angebracht
und derart dimensioniert sind, dass bei Rotation des Drehrah-
mens (40) eine zum Kühlen der Abtasteinheit (1) ausreichende
Kühlleistung erreicht wird.

16. Tomographie-Gerät nach Anspruch 15,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s
die Luftmitnehmer als Luftschaufeln (43) ausgebildet sind.
- 5 17. Tomographie-Gerät nach Anspruch 15 oder 16,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s
die Luftmitnehmer an einer Außenseite des Drehrahmens (40)
oder an einer Außenseite einer Gehäusewand des Drehrahmens
(40) angeordnet sind.

Zusammenfassung

Verfahren zum Betrieb eines Tomographie-Geräts und Tomographie-Gerät

5

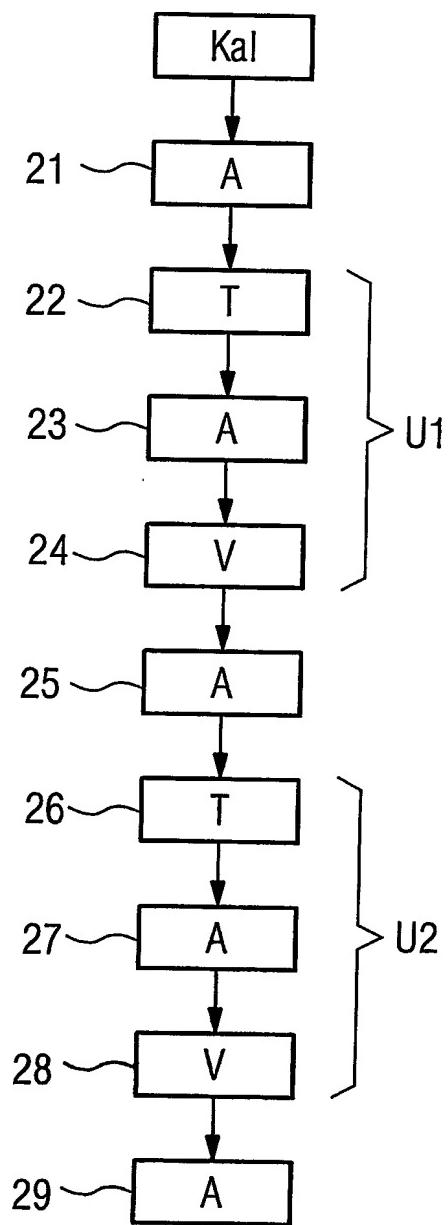
Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Tomographie-Geräts, insbesondere eines Röntgen-Computertomographie(CT)-Geräts, welches eine um eine Systemachse (Z) rotierbare Abtasteinheit (1) und eine Lagerungsvorrichtung (9) für ein Untersuchungsobjekt aufweist. Die Rotation der Abtasteinheit (1) wird vom Beginn der Untersuchung eines ersten Untersuchungsobjekts (U1) bis zum Ende der Untersuchung eines zweiten Untersuchungsobjekts (U2) nicht unterbrochen. Es ist auch ein Tomographie-Gerät mit einer entsprechend ausgebildeten Steuereinrichtung (18) beschrieben. Vorzugsweise sich der Zeitraum (Δt) der ununterbrochenen Rotation der Abtasteinheit (1) über eine Arbeitsschicht, über einen Arbeitstag oder über eine Vielzahl von Untersuchungen.

10

15

Fig. 2

FIG 2



200218562

3/4

FIG 3

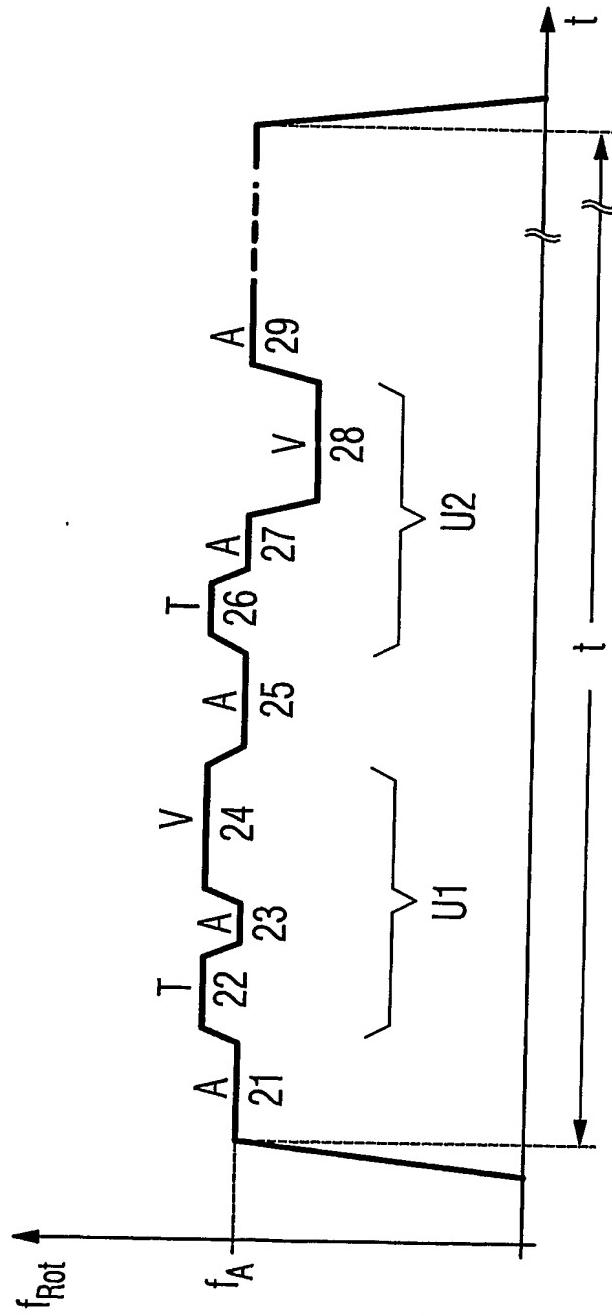


FIG 4

